

현장성능시험에 의한 외기전용과 냉각식 + 재열 공조기의 운전비 비교

김영일[†], 김정민*, 정광섭, 박승태**

서울과학기술대 건축학부, *서울과학기술대 주택대학원, **(주)에이티엔지 기술연구소

Operation Cost Comparison of Dedicated Outdoor and Cooling + reheating Air-conditioning Systems by On-site Performance Test

Young Il Kim[†], Jung-Min Kim*, Kwang-Seop Chung, Seung-Tae Park**

School of Architecture, Seoul National University of Science and Technology, Seoul 139-743, Korea

*Graduate School of Housing, Seoul National University of Science and Technology, Seoul 139-743, Korea

**Air-Tech Engineering Co. Ltd., Seongnam 462-806, Korea

Abstract

Dedicated outdoor air(DOA) system which conditions the outdoor air separately is superior to conventional cooling+reheating system with respect to energy consumption and indoor comfort. Since the sensible and latent load characteristics of indoor and outdoor are different, it is more efficient to treat them separately. In this study, cycle analysis and on-site performance test of DOA system have been conducted. The study shows that DOA requires 50% less equivalent energy than the conventional system. The on-site performance test of a prototype shows that the coefficient of performance(COP) of the DOA system is 37% higher than the conventional system.

Key words : DOA(dedicated outdoor air, 외기전용), Performance analysis(성능 분석), On-site performance test(현장 성능시험), COP(Coefficient of performance, 성능계수), Cooling(냉방), Ventilation(환기)

기 호 설 명

AC : After-chiller
AHU : Air handling unit
CA : Conditioned air
COP : Coefficient of performance
E : Energy
EA : Exhaust air

h : 엔탈피 [kJ/kg]
HP : heat pump
HT : Heater
 \dot{m} : 질량유량 [kg/s]
OA : Outer air
PC : Pre-chiller
 q : 열전달율 [kW]
RA : Return air
SA : Supply air
SHF : 현열비 [-]
 T : 온도 [°C]
 \dot{V} : 풍량 [m³/s]
 w : 절대습도 [g/kg]

[†] Corresponding author
Tel.: +82-2-970-6557, Fax: +82-2-974-1480
E-mail: yikim@seoultech.ac.kr
접수일 : 2011년 10월 14일
심사일 : 2011년 10월 14일
채택일 : 2011년 11월 21일

그리스 문자

- ρ : 밀도 [kg/m³]
- ϕ : 상대습도 [%]
- s : 설정(set)

하 첨 자

- lat : 잠열
- sen : 현열
- tot : 전열=현열+잠열

1. 서 론

외기전용 공조(DOA, dedicated outdoor air) 시스템은 도입하는 신선 외기를 별도로 공조함으로써 실내 공기를 실외 공기와 혼합한 후 냉각 및 재열하는 기존 방식에 비하여 효율과 쾌적성 측면에서 유리하다. 실내와 실외의 현열 및 잠열 부하 조건은 상이하므로 따라서 각각을 별도로 처리하는 것이 효율적이다. 본 연구에서는 새로 개발된 외기전용 공조 방식과 기존의 냉각+재열 방식의 운전비 비교를 위하여 현장실험과 해석을 수행하였다.

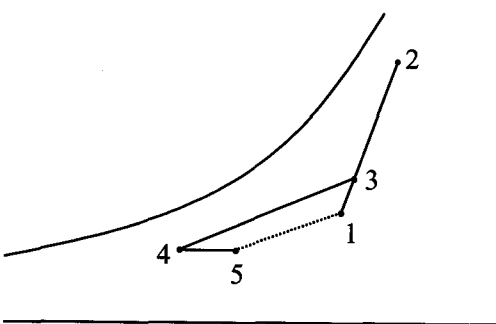


Fig. 1 Conventional conditioning process (Cooling+reheating).

Krakow^[1]는 온도와 습도를 동시에 제어하기 위하여 송풍기와 압축기의 회전수를 조절하는 기법을 개발하였다. 증발기를 통과하는 풍량을 증가시키면 현열 용량은 증가하지만 잠열 용량은 감소한다. 압축기의 회전수를 증가시키면 현

열 및 잠열 용량은 둘 다 증가한다. 따라서 압축기의 회전수로 온도를 제어하고, 송풍기 회전수로 습도를 제어하면 적절하게 출구의 온도 및 습도를 제어할 수 있다. 그러나 이러한 기법은 실제 운전 현장에서 적용하기는 어렵다.

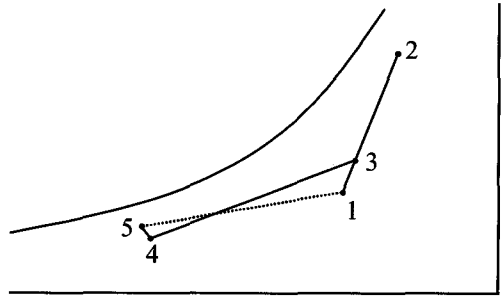


Fig. 2 Conventional conditioning process (Cooling+rehumidifying).

외기전용 공조기를 도입하면 실내의 부하 특성에 따라 환기를 위한 외기 도입 대응이 우수하고 습도 제어도 용이하다. 외기전용 공조기를 도입하면 실내 온도 및 습도 조건을 맞추기 위하여 수행되어지는 재열(reheating) 또는 재가습(rehumidifying) 부하를 줄일 수 있어 에너지 절약에도 유리하다^[2,3,4].

여름철 냉방부하는 현열과 잠열로 분류되며 실내와 실외 조건에 따라 각각의 값은 큰 차이를 보인다. 외기의 온도가 높고 일사량이 많을 경우 현열부하는 많아진다. 그 반대로 실외 온도가 낮고 습도가 높을 경우 잠열부하가 증가한다. 기존 냉각식 공조 방식에서는 원하는 온도 및 습도까지 공기를 냉각시킨 후 온도가 너무 낮을 경우 재열에 의해 온도를 상승시킨 후 실내로 급기한다.

2. 외기전용 공조기의 특성

종래의 정풍량 방식으로는 변동하는 외기 및 실내 부하 조건에 따라 적절하게 실내의 온도 및 습도를 제어하기 어렵다. 이유는 현열과 잠열 부하의 상대적인 크기가 계속 변하기 때문이다.

종래의 냉각 후 재열에 의한 공조 방식을 Fig. 1에 나타내었다. 실내공기 1과 실외공기 2가 혼

합되어 3의 상태가 된다. 이 공기는 냉각코일을 지나면서 4의 상태로 냉각 및 감습이 된다. 여기서 상태 1를 통과하며 기울기가 현열비인 상태 선과의 교점 5까지 재열(과정 4→5)된 후 실내에 급기된다. 이 방식은 잠열부하가 많을 경우 재열 부하가 많아져 에너지 손실이 많아진다. 현열부하가 많은 경우 요구되는 습도 조건을 맞추기 위해 재가습 부하가 발생할 수도 있다. Fig. 2는 현열부하가 많은 경우로 온도를 낮추기 위해 혼합공기 3은 4까지 냉각되며 습도 조건을 위하여 재가습(과정 4→5)이 필요하다.

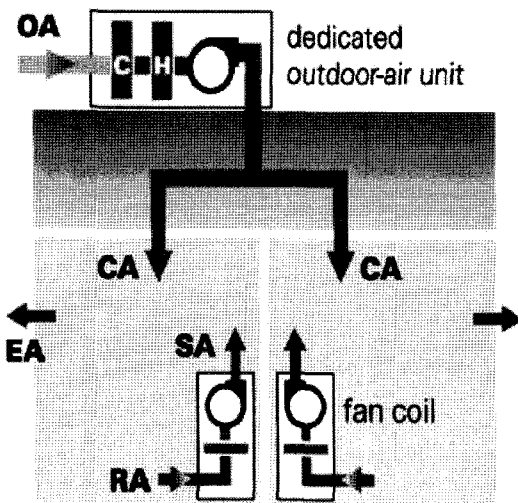


Fig. 3 Conditioned OA delivered directly to the space.

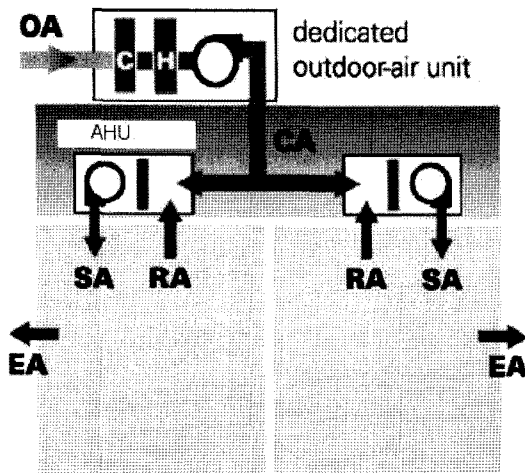


Fig. 4 Conditioned OA delivered to air handling unit.

외기전용 공조기는 운전 방식에 따라 2가지로 분류된다. Fig. 3은 공조된 외기(OA)를 직접 실내로 급기하며 실내에는 FCU(fan coil unit) 또는 패키지 시스템에 의해 실내 부하를 처리한다. 이 방식에서는 공조된 외기와 실내에 설치된 공조기에서 제공되는 공기가 잘 혼합될 수 있게 급기 방식이 잘 설계되어야 한다. Fig. 4는 공조된 외기를 공기조화기에 보내 공기를 원하는 조건으로 조화한 후 실내로 급기한다.

여름철인 경우 외기부하는 잠열부하가 많아 외기전용공조기로 처리하고, 실내부하는 현열부하가 많아 별도의 공조기로 처리한다. 이 때 실내부하를 처리하는 공조기는 응축수가 발생이 없는 건코일로 운전될 수 있어 박테리아 등의 발생에 의한 문제점으로부터 자유로울 수 있다.

3. 냉각+재열 시스템과 외기전용 공조기의 에너지 사용량 비교

종래의 냉각+재열 시스템과 제습로터를 이용한 외기전용 공조기의 에너지 사용량을 비교하고자 한다. 공조 대상인 어떤 공간에 대하여 현열부하 264 kW, 잠열부하 59 kW, 총부하 323 kW라고 가정한다. 현열비(SHF)는 다음과 같이 0.8173로 계산된다.

$$SHF = \frac{q_{sen}}{q_{tot}} = \frac{264 \text{ kW}}{323 \text{ kW}} = 0.8173 \quad (1)$$

실험장치의 큰 용량과 실내 및 실외 조건 변경의 어려움으로 실내는 22℃, 45%, 외기는 33℃, 43%, 외기 도입량은 7000 CMH의 한 조건에 대해서만 분석이 수행되었다.

3.1 냉각+재열 시스템

현재 냉방시 가장 많이 사용되는 공조 시스템은 Fig. 5와 같다. 재순환하는 실내공기(상태 8)와 신선한 외기공기(상태 1)이 혼합되어 상태 2가 된다. 이 공기는 저온의 열교환기와 열교환을 하면서 냉각 및 제습이 된다(상태 3).

일반적으로 습도 조건을 맞추기 위하여 공기

는 과냉되므로 재열에 의해 공기는 원하는 온도 (상태 4)까지 가열되어 실내로 급기된다. 이 과정을 습공기선도 상에 나타내면 Fig. 6과 같이 된다. Table 1에 각 상태의 값을 나타내었다.

3.2 외기전용 공조기

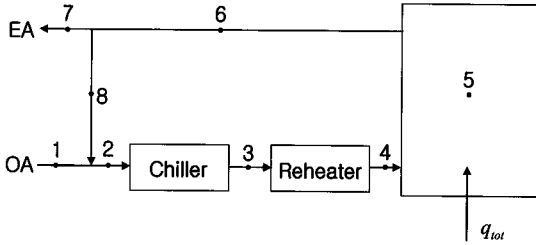


Fig. 5 Cooling + reheating system.

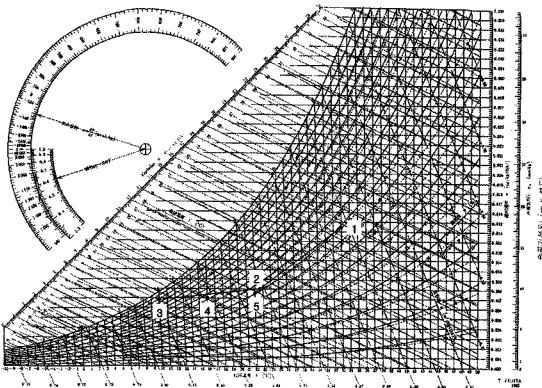


Fig. 6 Process of cooling + reheating system.

Table 1. Cooling + reheating system

Var.	T	ϕ	h	w	G	Q
Unit	°C	%	kJ/kg	g/kg	kg/s	cmh
1	33*	43.0*	69.65	14.227	2.192	7,000*
2	22.5	43.59	41.41	7.383	48.758	148,753
3	10*	90*	27.34	6.859	48.758	142,345
4	16*	60.77	33.46	6.859	48.758	145,361
5	22*	45*	40.09	7.061	-	-
6	22*	45*	40.09	7.061	48.758	148,425
7	22*	45*	40.09	7.061	2.192	6,672
8	22*	45*	40.09	7.061	46.566	141,752

* Fixed value

제습로터를 이용한 외기전용 시스템에서는 Fig. 7에서 보여주는 바와 같이 외기를 예냉기(pre-chiller)에 의해 냉각 및 제습을 우선 수행한다. 출구 공기 중 일부는 재생공기로 사용하고, 나머지는 제습기를 통과하여 제습이 되면서 온도가 상승한다. 이 공기는 실내에서 재순환된 공기와 혼합되어 상태 15가 되고 이 공기는 after-chiller를 통과하여 상태 16으로 실내에 급기된다. Fig. 8은 습공기선도 상에 외기전용 공조기의 과정을 나타낸다.

한편 상태 12에서 재생공기로 사용되기 위하여 분리된 공기는 제습로터의 퍼지(purge) 부분을 지나 상태 22가 된다. 이 공기는 가열기에 의해 가열되어 상태 23이 되어 제습로터를 재생시키고 상태 24의 다습한 공기가 되어 외부로 배출된다.

3.3 두 방식의 에너지 사용량 비교

Table 3. Energy consumption of cooling + reheating system

	Capacity (kW)	Power (kW)	Equivalent energy (kcal/h)
Chiller	650.5	Elec. 260.2	559,430
Reheater	264.4	Heat 264.4	227,343
Total			786,773

Table 4. Energy consumption of DOA system

	Capacity (kW)	Power (kW)	Eq. energy (kcal/h)
Pre-chiller	82.6	Elec. 33.05	71,058
Reg. heater	38.3	Heat 38.3	32,932
After-chiller	333.6	Elec. 133.4	268,810
Total			390,800

Table 5. Specification of a DOA system

Electricity	3 phase, 380 V
Process fan	1.03 kW
Regeneration fan	0.36 kW
Electric heater	3.86 kW × 2 EA
Heat pump	12.7 kW
Gear motor	0.025 kW

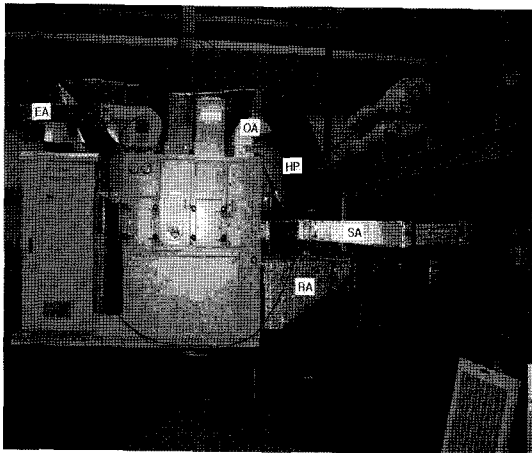


Fig. 9 Prototype of a DOA system

에너지관리공단 지침에 의해 다음과 같이 에너지원별로 등가에너지를 계산한다.

전력 1 kWh = 열 2150 kcal

열 1 kWh = 열 860 kcal

냉동기의 성능계수(COP)는 2.5라고 가정한다.

Table 3은 종래의 냉각+재열 공조 시스템, Table 4는 외기전용 공조기의 에너지 사용량을 나타낸다.

두 방식에 대하여 등가 에너지 사용량을 비교하면 외기전용 공조기가 50% 적게 사용하므로 유리하다.

$$\frac{E_{eq,DOA} - E_{eq,cool+reh}}{E_{eq,cool+reh}} \times 100 = \frac{390,800 - 786,773}{786,773} \times 100 = -50.3\%$$

Table 6. Results of measurement

Var.	Unit	RA	SA	EA
T	℃	29.1	18.2	25.9
φ	%	30.7	25.8	86.3
w	g/kg	7.693	3.329	18.233
h	kJ/kg	48.94	26.75	72.53
ρ	kg/m ³	1.154	1.205	1.147
G	kg/s	0.7852	0.6418	0.1434

Table 7. Electricity measurement

	Voltage	Current	Power
Unit	V	A	kW
Heat pump	393	21.3	12.7
Supply fan	394	3.25	1.03
Exhaust fan	392.5	1.36	0.36
Elec. heater 1	393	5.635	3.86
Elec. heater 2	393	5.635	3.86
Gear motor			0.025
Main	391	34.8	22.6

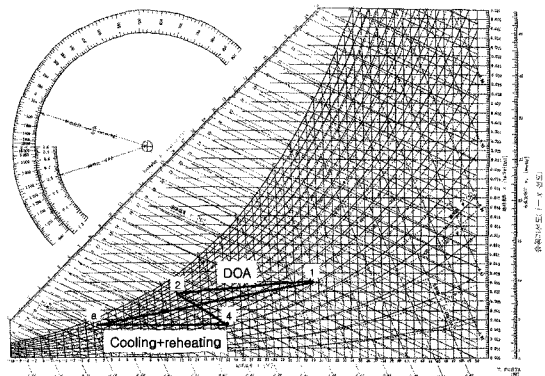


Fig. 10 Psychrometric diagram.

4. 외기전용 공조기의 현장 성능시험

외기전용 공조기의 성능을 측정하기 위하여 Fig. 9와 같이 시작품이 제작되었고 현장에서 성능시험이 이루어졌다. Table 5에는 시작품의 간략한 사양을 나타내었다.

풍량을 측정하기 위하여 사각 덕트를 9등분하여 각 지점의 풍속을 측정한 후 면적으로 적분하였다. 공기의 온도를 측정하여 밀도를 계산한 후 질량유량을 계산하였다. 사용한 열선식 풍속계측기는 풍속 범위 0.1~3.0 m/s에서 오차는 ±3%이다. 온도와 상대습도의 오차 범위는 각각 ±0.3℃, 1.6%이다. 종합전력계를 이용하여 전압, 전류, 역률 등을 측정하였다.

Table 6에 상태량 측정값, Table 7에는 전력 측정값을 나타내었다. 수분의 응축량은 초시계와 비이커를 이용하여 평균 0.8716 cc/s로 측정되었다. Table 7에는 전력에 대한 측정값이다.

Fig. 10은 동일한 상태 4를 얻기 위하여 종래와 외기전용 공조기의 습공기선도 상에서의 과정을 나타낸다. 각각의 과정에 대하여 전체 성능계수를 구하면 종래의 냉각+재열 방식에서는 0.4585, 외기전용 공조기는 0.6300이다. 따라서 외기전용 공조기의 성능계수가 종래 방식에 비하여 37.4% 높다.

5. 결론

외기전용 공조 시스템은 도입하는 신선 외기를 별도로 공조함으로써 실내 공기를 실외 공기와 혼합한 후 냉각 및 재열하는 기존 방식에 비하여 효율과 쾌적성 측면에서 유리하다. 외기전용 공조기에 대하여 사이클 해석과 현장 성능시험을 수행하였으며 그 결과는 다음과 같다.

- (1) 외기전용 공조기는 외기만 전용으로 공조하는데 이는 실내와 실외의 현열 및 잠열 부하 조건이 상이하기 때문에 각각을 별도로 처리하는 것이 효율적이다.
- (2) 종래의 냉각+재열 방식과 외기전용 공조기의 등가 에너지 사용량 비교 결과, 외기전용 공조기가 종래 방식에 비하여 50% 적게 에너지를 사용한다.
- (3) 외기전용 공조기 시작품이 제작되었으며 현

장에서의 성능시험 결과 외기전용 공조기의 성능계수는 종래 방식에 비하여 37% 높다.

- (4) 외기전용 공조기는 외기와 실내부하를 별도로 처리함으로써 에너지절약과 쾌적성 측면에서 유리하다.
- (5) 향후 연구에서는 다양한 실내 및 실외 조건에 대하여 현장성능시험과 해석이 수행되어야 한다.

참고문헌

1. Krakow, K. I., Lin, S., Zeng, Z.-S., 1995, Temperature and Humidity Control during Cooling and Dehumidifying by Compressor and Evaporator Fan Speed Variation, ASHRAE Trans. Part 1, pp. 292-304.
2. Morris, W., 2003, The ABCs of Dedicated Outdoor Air Systems, ASHRAE Journal, May, pp. 24-29.
3. Mumma, S. A., 2001, Designing Dedicated Outdoor Air Systems, ASHRAE Journal, May, pp. 28-31.
4. Murphy, J., 2006, Smart Dedicated Outdoor Air Systems, ASHRAE Journal, July, pp. 30-37.